

избежать нарушения технологического процесса и ухудшения эффективности очистки.

Список литературы

1 **Андреюк, С. В.** Экологическое образование и воспитание при сотрудничестве вуза с производственными организациями / С. В. Андреюк, В. А. Бурко // Экологическое образование и устойчивое развитие. Состояние, цели, проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч.-метод. конф., 2–3 марта 2023 г., г. Минск : электронный сборник / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та. – М., 2023 – С. 131–133.

2 О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва прир. рес. и охраны окр. среды Респ. Беларусь, 26 мая 2017 г., № 16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://etalonline.by./document/?regnum=w21732141&q_id=3849986 (дата обращения: 17.01.2025).

3 **Каперейко, Д. В.** Анализ эффективности работы городских канализационных очистных сооружений / Д. В. Каперейко, А. А. Хведчэнія, Я. В. Польщук // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы IX Всероссийской (с международным участием) науч.-техн. конф. молодых исследователей, Волгоград, 18–23 апр. 2022 г. / М-во науки и высшего образования РФ, Волгогр. гос. техн. ун-т ; под ред. Н. Ю. Ермиловой, И. Е. Степановой. – Волгоград, 2022. – С. 40–42.

4 **Акулич, Т. И.** Эффективность схем биологического удаления фосфора и нитратов денитрификации на действующих аэротенках / Т. И. Акулич, С. В. Андреюк, А. И. Морозова // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : материалы Междунар. науч.-экол. конф., посвящ. Году науки и технологий / КубГАУ; сост.: В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева ; под ред. И. С. Белоценко. – Краснодар, 2021. – С. 422–425.

УДК 628.169:66.081

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ И РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА И СВОЙСТВ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОСАДКОВ

O. H. ГОРЕЛАЯ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
glesya@bsut.by*

Актуальность. Производственные и поверхностные сточные воды, содержащие в своем составе нефтепродукты и близкие к ним по свойствам масла, на сегодня остаются источником антропогенного загрязнения окружающей среды. Наиболее сложными для очистки являются остаточные концентрации нефтепродуктов. Достаточно большой опыт, накопленный для оптимального решения этой проблемы, как правило, сводится к использованию сорбционных материалов [1–3]. Основываясь на актуальности еще

одного не менее важного направления – вовлечения в хозяйствственный оборот отходов различных производств, авторами [4, 5] предложено использование отходов станций водоподготовки – железосодержащих осадков от фильтров обезжелезивания. В результате были получены новые сорбционные материалы. Для определения свойств образцов данных сорбентов определены их основные характеристики: нефтеемкость (НЕ, г/г), полная статическая обменная емкость (ПСОЕ, мг/г), удельная поверхность по метиленовому голубому (МГ) ($S_{уд.МГ}$, м²/г) и удельная поверхность по сорбции азота методом Брунауэра – Эмметта – Теллера (БЭТ).

Цель работы – статистическая обработка результатов эксперимента, позволяющая объективно оценить взаимосвязи между исходными заданными параметрами (использование различных восстановителей для синтезирования новых сорбентов, изменение соотношений окислителя и восстановителя, изменение температуры синтеза) и полученными данными по каждой из оцениваемых характеристик.

Основные результаты. Для синтеза новых сорбентов использовалось четыре различных восстановителя (глицин, мочевина, лимонная кислота и гексаметилентетраамин) при различных температурах синтеза (от 300 до 700 °C с шагом 100 °C) [4, 5]. При этом соотношение окислителя и восстановителя было выбрано 1 : 1 ($f = 1$).

Экспериментальные данные обрабатываются на ПЭВМ с помощью прикладных пакетов EXCEL, MathLab, STATISTICA. Математическая обработка результатов экспериментов проводится при принятом допущении о распределении данных по нормальному закону и доверительной вероятности, равной 0,95. При измерении характеристик используется среднеарифметическое значение как минимум трех испытаний.

В качестве первичной обработки массива данных для определения наличия линейной связи между переменными (в качестве переменных рассматривались вид восстановителя и температура синтеза, в качестве функции – данные, полученные в результате проведенных опытов для определения различных характеристик полученных образцов наносорбента), а также оценки ее тесноты и статистической значимости выполнен корреляционный анализ Пирсона. Результаты представлены в виде корреляционной матрицы Пирсона на рисунке 1.

При анализе корреляционной матрицы Пирсона для образцов, синтезированных при соотношении окислитель к восстановителю 1 : 1 (см. рисунок 1), выявлены сильные зависимости ($|r| > 0,7$) между рядом параметров. В частности, нефтеемкость демонстрирует значительную корреляцию с восстановителем (B), что указывает на влияние химического состава восстановителя на сорбционные свойства образцов. Аналогично параметры сорбции метиленового голубого и удельной поверхности также показывают сильную связь с восстановителем, а температура синтеза (T) вносит вклад в формирование их значений. Это подтверждается полученными уравнениями

регрессии, в которых квадратичные и смешанные члены (B^2 , BT) оказывают заметное влияние на величину сорбционных характеристик. Общая тенденция указывает на оптимизацию свойств при определенном сочетании восстановителя и температуры, что согласуется с ранее проведенными исследованиями.

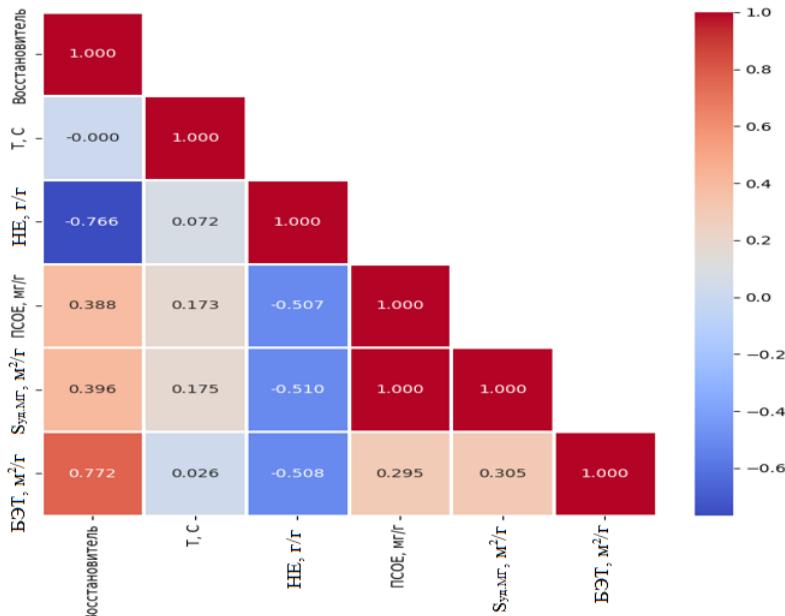


Рисунок 1 – Корреляционная матрица Пирсона (при $f = 1$)

Из полученных данных видно, что B оказывает значительное влияние на все исследуемые параметры. Высокая корреляция с HE , удельной поверхностью (и по $БЭТ$, и по $MГ$) и $ПСОЕ$ указывает на ключевую роль выбора восстановителя в формировании структуры материала. Также следует отметить, что T играет свою роль в значениях сорбционных свойств материалов. Влияние температуры проявляется как в линейных, так и в квадратичных членах уравнений регрессии. С увеличением температуры наблюдается рост удельной поверхности по $MГ$ и $БЭТ$ до определенного порога, за которым начинается ее снижение, что может быть связано с агломерацией частиц, и, соответственно, снижение их удельной поверхности.

В результате регрессионного анализа получены модели регрессии: полиномиальные уравнения с высокими значениями коэффициентов детерминации, позволяющими говорить о сильной связи значений, полученных по модели и реальными измеренными (рисунок 2):

$$E = 8,9422 - 6,7377B + 0,0117T + 1,2230B^2 - 0,0018BT; R^2 = 0,9113;$$

$$\text{ПСОЕ} = -25,8771 + 14,2898B + 0,1031T - 3,0650B^2 - 0,0173BT - 0,0002T^2 + \\ + 0,1467B^3 + 0,0028B^2T; R^2 = 0,8222;$$

$$S_{\text{уд.МГ}} = -1033,3734 + 554,8235B + 4,1655T - 115,7425B^2 - 0,6864BT - \\ - 0,0064T^2 + 4,9533B^3 + 0,1098B^2T; R^2 = 0,8249;$$

$$\text{БЭТ} = -96,1536 - 34,0000B + 0,6744T + 8,2500B^2 + 0,0365BT - 0,0008T^2; \\ R^2 = 0,7884.$$

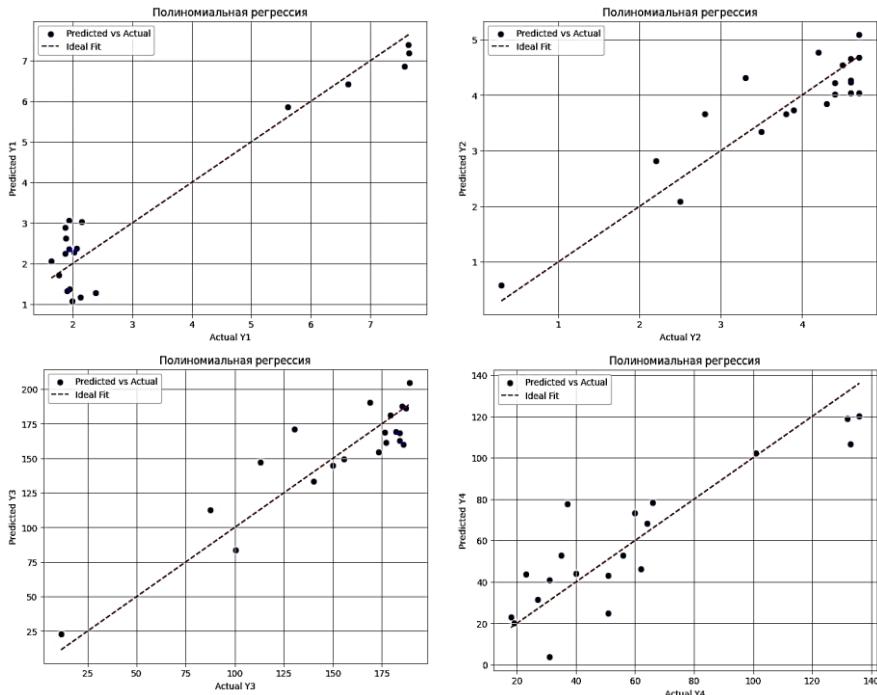


Рисунок 2 – Связь значений, полученных по модели и реальными измеренными

Выводы. Статистическая обработка результатов определения различных характеристик сорбционных материалов, синтезированных методом экзотермического горения в растворах, позволило оценить устойчивые зависимости между различными параметрами. Установлено, что значительную взаимосвязь между нефтеемкостью и удельной поверхностью по БЭТ играет выбор восстановителя.

Уравнение регрессии дает возможность оценить влияние каждой независимой переменной на прогнозируемые значения, включая коэффициент регрессии для каждой независимой переменной. Регрессионный анализ

подтверждает с высокой точностью связь независимых и зависимых переменных с возможностью предсказать значения зависимой переменной.

Список литературы

1 **Gruzinova, V.** Optimizing Oil-Contaminated Wastewater Purification with Polypropylene Thread Waste / V. Gruzinova, V. Romanovski // Waste and Biomass Valorization. – 2024. – Vol. 16 (5) – P. 2521–2533.

2 **Грузинова, В. Л.** Математическое описание процесса реагентной очистки сточных вод от нефтепродуктов / В. Л. Грузинова, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БГТУ. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2 (86). – С. 62–65.

3 **Романовский, В. И.** Оценка экономической эффективности применения промышленных отходов в технологии очистки сточных вод локомотивных депо от нефтепродуктов / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Актуальные вопросы экономики строительства и городского хозяйства : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 апр. 2013 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: С. А. Пелих, В. К. Липский. – Минск, 2014. – С. 307–313.

4 **Горелая, О. Н.** Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Вестник БГТУ. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 61–64.

5 **Горелая, О. Н.** Влияние дозы восстановителя на свойства магнитных сорбентов из осадков станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 1. – С. 32–37.

УДК 621.762.001.2

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

E. Ф. КУДИНА, K. В. ЕФИМЧИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
efim_by@mail.ru

Актуальность. В настоящее время большое внимание уделяется полимерным композиционным материалам (ПКМ). Из них изготавливают изделия с уникальными свойствами и высокими эксплуатационными характеристиками. При получении деталей из ПКМ нужно учитывать не только их будущие высокие эксплуатационные характеристики, но и специфику их переработки (utiлизации) с сохранением экологической безопасности. В противном случае преимущества высоких прочностных свойств ПКМ могут быть перевешены негативными последствиями для экологии [1].